

Системы телекоммуникации, связи и защиты информации

УДК 681.322

А.О. Лунтовський¹, д.-р.техн.наук, **І.В. Мельник²**, д.-р.техн.наук, **М.С. Шикова²**

¹Університет кооперативного навчання м. Дрездена "Саксонська Академія",

Ханс-Грундіг штрассе, 25, 01307, м. Дрезден, Німеччина.

²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

вул. Політехнічна, 16, корпус 12, м. Київ, 03056, Україна.

Етапи розвитку сучасних мережних технологій та приклад створення енергетично-ефективного мультимедійного сервісу на основі мікрокомп'ютерного вузла

У статті надано періодизацію мережних технологій та розглянуті тенденції їх розвитку. Зауважується на постійне прогресивне зростання кількості домашніх пристроїв, які керуються через Інтернет, на технічні проблеми, які при цьому виникають, та на ефективні способи їх вирішення.

Поданий приклад створення енергетично-ефективного мультимедійного сервісу на основі мікрокомп'ютерного вузла, який реалізує недорогу систему керування домашнім мультимедійним центром на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi. Бібл. 7, рис. 4, табл.1.

Ключові слова: сервіси Інтернет, протоколи Інтернет, розподілені обчислення, енергетична ефективність мережних сервісів, мережі Smart Grid, хмарні обчислення, туманні обчислення, мультимедійний центр, мікрокомп'ютер Raspberry Pi.

Вступ

Сьогодні сервіси, які надаються в Інтернет, безпосередньо пов'язані із вирішенням питань ефективного керування електроенергією та керування домашніми електронними пристроями у системі «Інтелектуальний дім» (Intelligent Home). При цьому ефективність використання електроенергії пов'язана із глобальними екологічними проблемами, які в європейській та світовій спільноті регулюються у межах міждержавного Кіотського протоколу. Підвищення енергетичної ефективності використання потужних комп'ютерних серверів та інших побутових та промислових пристроїв досягається сьогодні через використання мереж керування розподілом електроенергії Smart Grid [1 - 4].

Другим важливим фактором розвитку сучасних сервісів Інтернет є зростання об'ємів паралельних обчислень та економія обчислювальних ресурсів. Тут фахівці насамперед відмічають перехід від хмарних обчислень (Cloud Computing) до туманних обчислень (Fog Computing), що пов'язано із перенесенням великої кількості обчислювальної роботи на малопотужні домашні мікрокомп'ютери, основною задачею яких є ефективне керування побутовими пристроями у системі «Інтелектуальний дім». Тобто, сьогодні туманні обчислення та використання мікрокомп'ютерів безпосередньо пов'язані і із проблемою економії електроенергії.

У зв'язку з цим, важливою та актуальною є проблема розробки сучасних інтелектуальних систем керування побутовими приладами на основі мікрокомп'ютерів. Актуальність цієї проблеми пов'язана також із розширенням ринку мікрокомп'ютерів та із зниженням цін на них.

У даній роботі розглядаються тенденції розвитку сучасних сервісів Інтернет, призначених для керування побутовим та промисловим обладнанням. Як приклад сучасної мікрокомп'ютерної системи керування розглянутий домашній мультимедійний центр, побудований на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi.

Історія та сучасні тенденції розвитку сервісів Інтернет з точки зору оптимізації обчислювальних потужностей, вартості мереж та збереження енергетичних ресурсів

Сучасні тенденції розвитку сервісів Інтернет суттєво відрізняються від тих, які були десять або двадцять років тому. Сьогодні умовно розрізняють наступні етапи розвитку Інтернет.

I. Початковий етап розгортання глобальної мережі Internet (1970 – 1999 рр.), коли за головну мету було поставлено створення мереж, які насамперед гарантують якість обслуговування QoS (Quality of Service).

II. На другому етапі розвитку сервісів Internet (2000 – 2010рр.) підвищення QoS супроводжується також заощадженням коштів на проектування та експлуатацію комп'ютерних мереж. Тобто, якщо мінімальна якість обслуговування визначена константою Q_{\min} , загальна вартість мережі C обчислюється із N можливих варіантів як:

$$C = \min_{i=1\dots N} (C_i) \Big|_{QoS \geq Q_{\min}} \quad (1)$$

У той же самий час проводиться централізація послуг у великих за розміром обчислювальних центрах.

III. На третьому етапі (починаючи з 2011 р.) здійснюється перехід до екологічно чистих інформаційних технологій із значно підвищеними вимогами щодо економії використання електроенергії та зменшення її вартості.

Середня енергетична ефективність (Power Usage Effectiveness, PUE) сучасних мережних сервісів обчислюється через співвідношення:

$$P_E = 1/\eta, \quad (2)$$

де η – коефіцієнт корисної дії (к. к. д.) комп'ютерної системи P_E – енергетична ефективність. Тоді критерій енергетичної ефективності комп'ютерної мережі за умови визначеної мінімальної якості обслуговування Q_{\min} та максимальної вартості C_{\max} визначається наступним чином:

$$P_E = \min_{i=1\dots N} (P_{e_i}) \Big|_{\substack{QoS \geq Q_{\min} \\ C \leq C_{\max}}} \quad (3)$$

Наведемо такий доречний приклад. Відомо, що енергетична ефективність серверів компанії Google складає 1,12. Тобто, середній к. к. д. серверів Google становить близько 89%. У той же час, середня енергетична ефективність комп'ютерних систем у середньому по всій планеті Земля, за даними міжнародної організації Institute 2012 Data Center Survey, становить близько 1,89, що відповідає досить низькому значенню к. к. д. 53% [2]. Досить високий к. к. д. серверів Google насамперед обумовлені оптимізацією їх апаратної частини та використанням зайвої енергії, яка виділяється, для її накопичення та перерозподілу, зокрема для обігріву будівель та для покращення мікроклімату тощо. Крім того, для живлення серверів часто викори-

стовують відновлювані джерела електроенергії або сонячну енергію, що також позитивно сприятиме вирішенню глобальної екологічної проблеми.

Тобто, шляхи економії енергії у комп'ютерних мережах наступні [1 – 4].

1. Поліпшення розподілу обчислювальної потужності за рахунок використання кластерних систем.

2. Використання енергетично ефективних мережних систем та пристроїв із покращеним співвідношенням $\frac{\text{Гбіт}}{\text{с} \cdot \text{Вт}}$ за умови значного обмеження потреб енергії для охолодження цих пристроїв.

3. Оптимальний вибір місця розташування потужних серверів, наприклад, у досить холодних регіонах, поблизу від річок тощо.

4. Повторне використання тепла, відпрацьованого комп'ютерними системами, зокрема, за рахунок об'єднання комп'ютерних мереж із мережами керування постачанням електроенергії Smart Grid.

Головні тенденції розвитку Інтернет та хмарних обчислень у мережних кластерах наведені на рис. 1. Для кількісних оцінок ефективності сучасних комп'ютерних мереж використовують співвідношення (1 – 3).

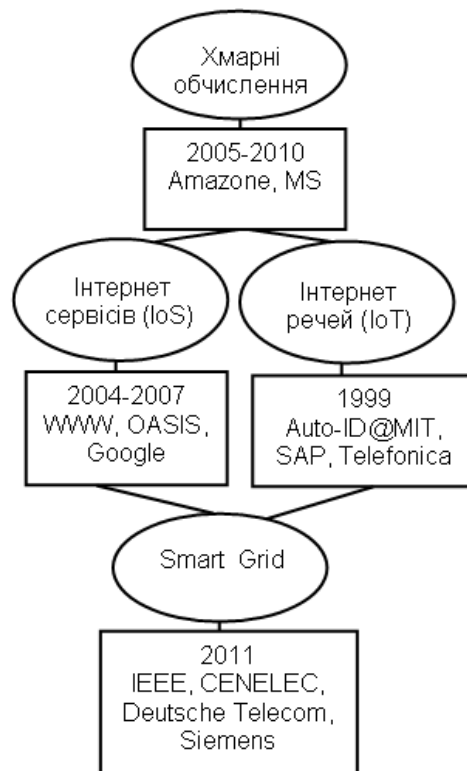


Рис. 1. Схематичне зображення розвитку науково-технічних ідей стосовно Інтернет, туманних обчислень та Smart Grid

Тенденції подальшого розвитку Інтернет

Головними тенденціями подальшого розвитку технологій глобальних мереж та Інтернет є інтеграція мережних сервісів в Інтернеті сервісів (Internet of Services, IoS) з використанням Smart Grid та хмарних обчислень. Така інтеграція призводить до появи двох головних тенденцій.

I. Перехід від Інтернету сервісів до Інтернету пристроїв, або Інтернету речей (Internet of Things, IoT) (рис. 1). Цьому сприяє розвиток сучасних нанотехнологій у комп'ютерній промисловості, який веде до підвищення продуктивності обчислювальних пристроїв за умови зменшення їх розмірів та енергоспоживання. Завдяки цьому сьогодні кожний домашній пристрій має мікрокомп'ютер та систему безпроводового зв'язку WLAN. Головна технічна проблема переходу від IoS до IoT полягає у необхідності надання кожному пристрою реальних адрес Інтернет. Для забезпечення обслуговування такої великої кількості пристроїв необхідний перехід до сучасного міжмережного протоколу IPv6.

II. Перехід від хмарних до туманних обчислень. Найважливішими технологіями передавання даних для подальшого розвитку IoT є наступні [1 – 4].

1. Мобільні мережі нових поколінь, зокрема LTE, 5G.

2. Система глобальної навігації, зокрема Global Positioning System (GPS).

3. Безпроводові локальні та міські мережі, зокрема Wireless Fidelity (Wi-Fi) та Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX).

4. Локальні та міські силові мережі для передавання даних, зокрема Powerline та Homeplug.

5. Енергопостачання через локальні мережі Power over Ethernet (PoE).

6. Шинні протоколи Konnex (KNX) та Local Operating Network (LON) для створення мереж автоматизації.

7. Персональні безпроводові пікомережі Bluetooth та Infrared Data Association (IrDA).

8. Безпроводові мережі автоматизації WSN, зокрема ZigBee та EnOcean.

9. Впровадження Інтернет-адрес протоколу IPv6 у енергетично-ефективних безпроводових мережах автоматизації, тобто IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN).

10. Енергетично-ефективні технології передавання даних на коротких відстанях, зокрема технологій Radio Frequency ID (RFID) Near Field Communication (NFC) та Quick Response (QR).

11. Водяні позначки Watermarks як стенографічні додатки [5].



Рис. 2. Схематичне зображення історії розвитку туманних обчислень як результату розвитку сервісів хмарних обчислень, Інтернет та Smart Grid

Основними відмінними рисами туманних обчислень вважають наступні.

- Широке географічне поширення мереж зазначеної технології.
- Явно визначена гетерогенність вузлів.
- Необхідність швидкої активації та деактивації вузлів (low-latency, location-awareness).
- Енергетична ефективність до довговічності вузлів (low-energy).
- Надвелика кількість вузлів та їх мобільність, що приводить до необхідності використання мережного протоколу IPv6.
- Першочергове значення безпроводових мереж.
- Додатки типу Streaming та Realtime із підвищеними вимогами до якості обслуговування QoS.

На рис. 2 наведені головні тенденції розвитку мережних служб та протоколів, які є концептуальною базою для створення Інтернету речей (IoT) та туманних обчислень (Fog Computing).

Деякі автори вважають Інтернет речей потенційно небезпечною технологією [1 – 6], оскільки вони можуть порушити приватну сферу громадян та, навіть, зашкодити національній інформаційній безпеці держави. Тому сьогодні перехід до Інтернету речей та хмарних обчислень також ретельно вивчається провідними політичними та охоронними структурами світу, зокрема комісіями ЄС, службою національної безпеки США тощо. Вирішення проблеми інформаційної безпеки, яка виникає вже сьогодні, можливе шляхом використання у мережах безпроводового зв'язку та у туманних обчисленнях відповідних криптопротоколів передавання даних, які забезпечують надійний захист інформації [5].

Із розглянутого матеріалу можна зробити висновок про те, що створення мереж керування домашніми пристроями на основі мікрокомп'ютерів, які мають низку вартість та споживають малу потужність, є актуальною науково-технічною проблемою.

Приклад створення інтелектуального вузла для керування мультимедійним центром на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi

Нижче наведений приклад створення інтелектуального вузла на основі мікрокомп'ютера, який надає надійного енергетично-ефективного мультимедійного сервісу для ілюстрації вищеписаних можливостей у рамках Інтернет-технологій Smart Grid та хмарних обчислень [6]. Компактні розміри і низьке енергоспоживання є головними пріоритетами одноплатних комп'ютерів типу AVR, Arduino, Intel Edison, Raspberry Pi. Моделі А та В Raspberry Pi – це одноплатні комп'ютери, створені як недороге апаратно-програмне рішення для масового розробника, студентів та інженерів [6, 7] (рис. 3).

У табл. 1 наведено порівняння технічних характеристик та вартості моделей Raspberry Pi Model A та Model B. Живлення до плати Raspberry Pi може бути підключено через кабель стандарту мікро-USB, або безпосередньо через контакти живлення. Номінальна напруга живлення становить 5 В, струм комп'ютера не перевищує 700 мА, тобто, загальна потужність, яку він споживає, складає не більше 3,5 Вт. Для збереження даних використовують SD-флешкарту та створюють ISO-образ диску.

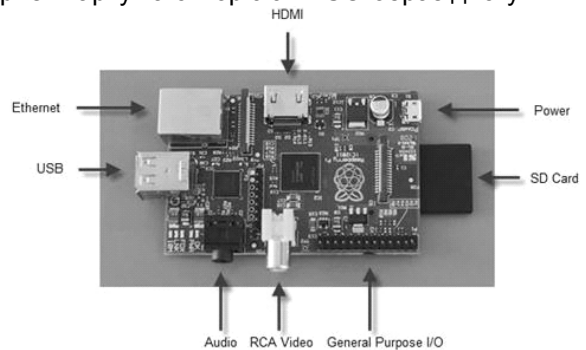


Рис. 3. Зображення одноплатного комп'ютера Raspberry Pi Model B

Табл. 1. Порівняння характеристик моделей двох Raspberry Pi

Характеристика	Model A	Model B
Орієнтовна ціна	25\$	35\$
Процесор CPU	ARM 700 МГц	
Графічний процесор GPU	BroadCom VideoCore	
Апаратні кодеки	H.264, MPEG-2	
Пам'ять SDRAM	256Мбайт	512Мбайт
Порти та інтерфейси	- 2x USB3.0 1x SD 1x HDMI 1x Cline, TRS-штекер 6x GPIO	1x LAN Eth 10/100 RJ45 2x USB3.0 1x SD 1x HDMI 1x Cline, TRS-штекер 6x GPIO
Напруга живлення, струм, потужність	5В, 500мА, 2,5Вт	5В, 700мА, 3,5Вт

Для роботи комп'ютеру Raspberry Pi необхідні ОС типу Linux або BSD UNIX різних модифікацій. Для створення та роботи медіа-центру необхідні HTTP-орієнтовані ОС із вбудованою підтримкою XBMC, наприклад, Raspbian, OpenELEC, Xbian.

Розглянемо програмне відкрите програмне забезпечення XBMC для роботи мультимедіа-центру. Графічний інтерфейс програми дозволяє легко керувати мультимедійною інформацією за допомогою дистанційного ІЧ-пульта керування. Система XBMC Media Center підтримує різноманітні формати графічних, звукових файлів, а також відео файлів та типів протоколів, зокрема:

- графічні: PNG, JPEG, BMP, GIF, ICO, TIFF, PCX тощо;
- звукові: MIDI, AIFF, WAV/WAVE, MP2, MP3, AAC, AACplus, AC3, DTS, ALAC, AMR, WMA тощо;
- відео: DivX, Xvid, BivX, AVI, MPEG-1, MPEG-2, H.263, MPEG-4, MPEG-4 AVC (H.264), HuffYUV, Indeo, MJPEG, RealVideo, RMVB, Sorenson, WMV тощо;
- списки відтворення: PLS, M3U, WPL;
- образи дисків: CUE, NRG, IMG, ISO, BIN;
- мережні протоколи: IP, IPv6, UPnP, NFS, SMB/SAMBA/CIFS, XBMSp, DAAP, HTTP, HTTPS, FTP, RTSP (RTSPU, RTSPT), MMS (MMSU, MMST), RTMP, Podcasting, TCP, UDP, SFTP, RTP;
- фізичні носії: CD, DVD, DVD-Video, Video CD (VCD/SVCD/XVCD), Audio-CD (CDDA), Blue Rays, USB Flash Drives, HDD;
- метадані: APEv1, APEv2, ID3 (ID3v1 and ID3v2), ID666, Exif (Geo Tagging).

Система XBMC підтримує наступні функції керування:

- підтримка пультів дистанційного керування;
- можливість програвання файлів, до яких є доступ через мережні протоколи FTP, SFTP, SSH і WebDAV;
- можливість віддаленого керування через Web-інтерфейс;
- наявність гнучкої системи плагінів;
- підготовка плагінів для інтеграції з популярними Online-сервісами (Web Services);
- можливість завантаження метаданих.

Для створення медіа-центру краще за все підходить Raspberry Pi Model B, тому що у ній є спеціальний блок, який відповідає за розпізнавання багатьох форматів відеофайлів. Робота з системою введення-виведення General Purpose Input-Output (GPIO) для підключення різноманітних пристроїв реалізована просто, що дозволяє

легко розширювати функції контролера. Під час роботи з електронною частиною важливо звертати увагу на параметри інтерфейсів для уникнення пошкодження робочих елементів Raspberry Pi.



Рис. 4. Структурна схема медіа-центра

На рис. 4 показана структурну схему медіа-центра [6, 7] на основі одноплатного комп'ютера Raspberry Pi. Зазначений медіа-центр складається з одноплатного комп'ютера Raspberry Pi Model B, до якого приєднуються через відповідні порти HDMI-монітор, USB-клавіатура та USB-миша.

До комп'ютера Raspberry Pi приєднується блок живлення 5 В, 1200 мА, вихідне рознімання – micro-USB (наприклад, виробництва SUNNY Comp. Tech.). Блок має наступні робочі характеристики:

1. Вхідна напруга – 90-264 В змінного струму.
2. Частота вхідної напруги – 47-63 Гц.
3. Вихідна напруга – 5 В постійного струму.
4. Вихідний струм – до 1200 мА.
5. Загальна потужність, яка споживається – до 6 Вт.
6. Експлуатаційна температура – 0-40°C.
7. Захист від короткого зімкнення, перевантаження та перенапруження.
8. Розміри – 64 мм x 48.5 мм x 25.5 мм.
9. Вага – 79 г.

Також до корпусу Raspberry Pi приєднуються відповідні схеми керування та інфрачервоний приймач-передавач. Таким чином, за допомогою модельного середовища на основі Raspberry Pi побудовано енергетично-ефективний вузол з мультимедійними функціями з використанням алгоритмів хмарних обчислень. Головними функціональними можливостями медіа-центру на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi є наступні.

1. Перегляд відеофайлів та прослуховування аудіофайлів вищезазначених форматів, розташованих на флешкарті пам'яті SD Card, у локальній мережі LAN або в Інтернет.

2. Перемикання колонок у приміщенні.

3. Регулювання гучності звучання колонок, тембру звучання та яскравості зображення на моніторі.

4. Можливість керування іншими домашніми пристроями за допомогою одного пульта через інфрачервоний порт.

Висновки

Якісно новими тенденціями розвитку мережних сервісів сьогодні виступають Smart Grid, як інтелектуальна мережа сервісів електропостачання та енергетично-ефективних інформаційних сервісів, та Інтернет речей IoT, які побудовані на основі розвинених сервісів IoS.

У ряді провідних країн світу прискорено створюється інтегрована інтелектуальна мережа Smart Grid за зразком побудови Інтернет та із можливістю використання стандартизованих інтерфейсів програмного забезпечення, а також мобільних додатків Apps через надані сервіси доступу IoS / Web Services / Cloud.

Особливу роль в Інтернеті речей відіграють енергетично-ефективні фрагменти мережі та її вузли у туманних обчисленнях із інстальованими інтелектуальними сервісами, наприклад такими, як мультимедійні сервіси на основі недорогих мікрокомп'ютерів у зборі. Відмінною рисою інтелектуальних мікрокомп'ютерних систем керування є безкоштовні ОС типу Linux, а також мультимедійні додатки та кодеки.

Виконана розробка системи керування медіа-центром на основі мікрокомп'ютера Raspberry Pi дозволяє впроваджувати у системи керування домашніми пристроями такі сучасні мережні технології, як системи Smart Grid для менеджменту енергетичних ресурсів та туманні обчислення. Розробка та практичне впровадження подібних недорогих, малопотужних, багатофункціональних та ефективних пристроїв керування домашнім обладнанням відповідає сучасним тенденціям розвитку мережних сервіс -

УДК 681.322

А.О. Лунтовський¹, д.-р.техн.наук, **И.В. Мельник²**, д.-р.техн.наук, **М.С. Шикова²**

¹Університет кооперативного обучения г. Дрездена "Саксонская Академия",

Ханс-Грундиг штрассе, 25, 01307, г. Дрезден, Германия.

²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,

ул. Политехническая, 16, корпус 12, 03056, г. Киев, Украина.

Этапы развития современных сетевых технологий и пример создания энергетически-эффективного мультимедийного сервиса на основе микрокомпьютерного узла

сів та є дуже перспективною. Іншою перевагою таких систем є висока гнучкість та ефективність керування, яке реалізується програмним способом. Впровадження таких систем веде до зменшення вартості обладнання та до економії електроенергії, а можливі функції керування домашніми пристроями зазвичай стають розширеними та більш різноманітними.

Список використаних джерел

1. *Luntovskyy A., Guetter D., Melnyk I.* Planung und Optimierung von Rechnernetzen: Methoden, Modelle, Tools für Entwurf, Diagnose und Management im Lebenszyklus von drahtgebundenen und drahtlosen Rechnernetzen // Springer / Vieweg + Teubner Verlag Wiesbaden, 2011. – 411 s. (німецькою мовою).
2. *Лунтовський А.О., Климаш М.М., Семенко А.І.* Розподілені сервіси телекомунікаційних мереж та повсюдний комп'ютинг і Cloud-технології // Львів: Львівська політехніка, 2012. – 368 с.
3. *Лунтовський А.О., Захарченко М.В., Семенко А.І.* Мультисервісні мобільні платформи // К.: Держуніверситет телекомунікацій ДУТ, 2014. – 216 с.
4. *Friedemann Mattern et al.* From the Internet of Things to the Web of Things: Resource Oriented Architecture and Best Practices: in „Architecting the Internet of Things“, Springer, New York - Dordrecht - Heidelberg - London, 2011, pp. 97 – 129.
5. *Лунтовський А.О., Климаш М.М.* Інформаційна безпека розподілених систем // Львів: Львівська політехніка, 2014. – 464с..
6. *Мельник И.В., Шикова М.С.* Одноплатный компьютер как важный элемент интеллектуальных систем. // VIII наукова-практична конференція «Перспективні напрямки сучасної електроніки». Матеріали конференції. – К.: НТУУ «КПІ». – 2014. – С. 88-91.
7. *M.Richardson, S.Wallace.* Getting Started with Raspberry Pi: O'Reilly Media, 2012. – 175 p.

Поступила в редакцию 20 ноября 2014 г.

В статье приводится периодизация сетевых технологий и рассматриваются тенденции их развития. Обращается внимание на постоянное прогрессирующее увеличение количества домашних устройств, которые управляются через Интернет, на технические проблемы, которые при этом возникают, и на эффективные методы их решения.

Приведен пример создания энергетически-эффективного мультимедийного сервиса на основе микрокомпьютерного узла, который реализует недорогую систему микрокомпьютерного управления домашним мультимедийным центром на основе микрокомпьютера Raspberry Pi. Библ. 7, рис. 4, табл. 1.

Ключевые слова: сервисы Интернет, протоколы Интернет, распределенные вычисления, энергетическая эффективность сетевых сервисов, сети Smart Grid, облачные вычисления, туманные вычисления, мультимедийный центр, микрокомпьютер Raspberry Pi.

UDK 681.322

A.O. Luntovskyy¹, Dr.Sc., **I.V. Melnyk**², Dr.Sc., **M.S. Shikova**²

¹BA Dresden University of Cooperative Education, Germany,
Hans-Grundig-Strasse 25, 01307 Dresden, Germany.

²National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Polytechnichna Street, 16, Kiev, 03056, Ukraine.

Stages of development of modern network technologies and example of creation of energy-effective multimedia service on the base of microcomputer node

The stages of network technologies and their development tendencies are considered in this article. Paying attention to the constantly progressive increasing of the amount of home devices, which are controlled via Internet, to the technical problems, which are appears by that, and to the effective methods of its solving.

An example of creation of low-power multimedia service on the base of microcomputer node, which realized the inexpensive system for microcomputer control of home media centre on the base of microcomputer Raspberry Pi, is given. Reference 19, figures 5, tables 1.

Keywords: Internet services, Internet protocols, Distributed Computing, energy efficiency of network services, Smart Grid networks, Cloud Computing, Fog Computing, multimedia centre, microcomputer Raspberry Pi

References

1. Luntovskyy A., Guetter D., Melnyk I. (2013), „Planung und Optimierung von Rechnernetzen: Methoden, Modelle, Tools für Entwurf, Diagnose und Management im Lebenszyklus von drahtgebundenen und drahtlosen Rechnernetzen“. Springer / Vieweg + Teubner Verlag Wiesbaden, 2011. – P. 411. (GER).
2. Luntovskyy A.O., Klymash M.M., Semenko A.I. (2012), “Rozpodileni servisy telekomunikaciy nyh me-rezh ta povsyudnyy kompyuting i Cloud-tehnologii”. Lviv, Lvivs'ka politehnika, P. 386. (UKR)
3. Luntovskyy A.O. Zaharchenko M.V., Semenko A.I. (2014), “Multiservisni mobilni platformy”. Kyiv, Derzhuniversitytet telekomunikaciy DUT, P. 216. (UKR).
4. Friedemann Mattern et al (2011), “From the Internet of Things to the Web of Things: Resource Oriented Architecture and Best Practices”. In “Architecting the Internet of Things”, New York - Dordrecht - Heidelberg - London, Springer, pp. 97 – 129.
5. Luntovskyy A.O., Klymash M.M. (2014), “Informaciyna bezpeka kompyuternyh system”. Lviv, Lvivs'ka politehnika, P. 464 (UKR)
6. Melnyk I.V., Shikova M.S. (2014), “Odnoplatnyy komputer kak vazhnyy element intelektualnyh system”. VIII naukova-praktychna konferentsiya “Perspektyvni napryamky suchasnoyi elektroniky”. Materialy konferentsii. Kyiv, NTUU “KPI”. P. 88–91. (RUS)
7. M. Richardson, S. Wallace. (2012), “Getting Started with Raspberry Pi: O'Reilly Media”. P. 175.